

量子カスケードレーザを用いた非侵襲血糖値測定システム —プリズムへの光入射法改善による測定精度の向上—

Non-invasive Blood Glucose Measurement System Using Quantum Cascade Lasers —Investigation of Light Coupling to Prism for Accuracy Improvement—

東北大 医工 ○(D)小山 卓耶, 木野 彩子, 松浦 祐司

Tohoku Univ., Graduate School of Biomedical Engineering,

○Takuya Koyama, Saiko Kino, Yuji Matsuura

E-mail: takuya.koyama.r2@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

中赤外領域のグルコース吸収を検出することで、非侵襲に血糖値を測定する手法が注目されている。我々のグループでは、小型かつ低コストなシステムの実現のため、単一波長で発振する量子カスケードレーザ (QCL) を用いたシステムを構築し、全反射減衰分光法 (ATR 法) により、ヒトの口唇粘膜から血糖値を測定できる可能性を見出した[1]。本研究では、測定精度を向上させるため、ATR プリズム中の赤外光の伝搬の様子を調査し、測定システムの改善を行ったので報告する。

2. 測定システムの改善

本研究では、Fig. 1 に示す測定系を構築して ATR 測定を行った。QCL の波長は、グルコースを構成するピラノース環の吸収波長である 1152 cm^{-1} と、バックグラウンドとして用いる、グルコースの吸収が現れない 1186 cm^{-1} の 2 波長を選択した[1]。また ATR 測定には、入射端面を 45 度に研磨した、上辺 24.0 mm 、下辺 20.2 mm 、高さ 1.6 mm のプリズムを用いており、本プリズムでは、入射光が上底面で 8 回反射する。Fig. 2 に、プリズム上面の各部を、中赤外光を吸収する幅 2 mm のテープでマスキングした際の 1186 cm^{-1} の光の伝搬損失を示す。損失は平均値からの変位で表しているが、各部で損失が大きく変動していることがわかる。これは特にコヒーレントかつビーム拡がりの小さなレーザ光を ATR 測定に用いる場合、プリズム内で光は拡散せず、さらに多重反射の影響もあって、局所的に光強度が集中するためである。これを用いて、口唇等に対して測定を行った際には、測定位置のわずかなずれにより測定値に大きなばらつきを生じさせる。そこで、プリズムへの入射光を拡散し、かつ多重反射が生じないように入射角度を変更することで、プリズム表面における光強度の均一化を図った。方法としてはまず、プリズムへ光を伝送するための中空光ファイバに、短焦点レンズ ($f = 5.95\text{ mm}$) を用いてレーザ光を入射し、高次モードを励振させることで、プリズムへの入射光を拡散した。また、入射端面に対して 10 度傾けて入射することで、プリズム内での多重反射を抑制した。Fig. 2 にはこれらの条件で測定した損失分布も示しているが、損失の変動が小さく抑えられており、プリズム上面の光強度の均一性が向上されたことを確認した。

3. 改善後のシステムの評価

上述のシステムを用いて、口唇粘膜の吸光度を測定した。測定では、プリズムの上下面を口唇でくわえることによって、 1152 cm^{-1} と 1186 cm^{-1} の吸光度を測定し、その差分を測定値とした。Fig.3 に、食後 120 分まで測定した差分吸光度を、指先からの採血による血糖値と比較して示した。血糖値が食後の高い値から低い値へ推移するのと同様に、吸光度が推移している様子が見取れる。また、同様の実験を 5 回行った結果得られた吸光度と血糖値の相関を Fig. 4 に示す。図中にはシステム改善前に行った実験結果も示しているが、これと比較して高い相関を得られており、また回帰係数の上昇から感度が向上したと考えられる。今後は、被験者数を増やすとともに、さらなる測定精度の向上を目指す。

<参考文献>

[1] 小山ほか, 第 79 回応用物理学会秋季予稿集, 21a-234A-2 (2018).

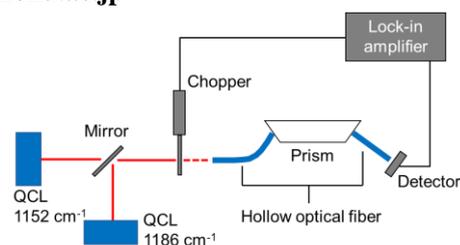


Fig. 1 Schematic of measurement system

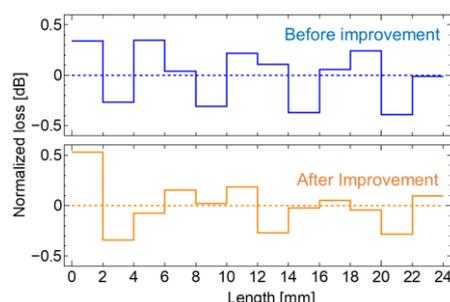


Fig. 2 Losses on upper surface of prism masked by absorber

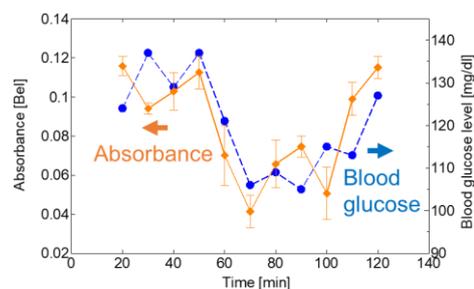


Fig. 3 Changes in the optical absorbance and blood glucose level after meal

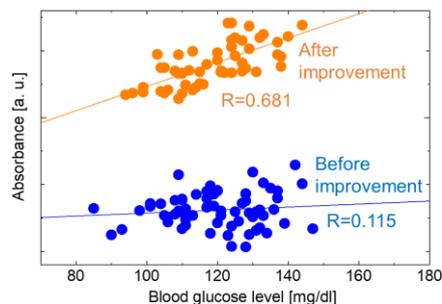


Fig. 4 Correlations between differential absorbance and blood glucose level